

QUEL EST L'AGE DES GLACIERS ? ¹

par André Renaud †, Lausanne

Si l'on considère avec raison que la physique est issue de l'astronomie il n'est pas moins certain que la glaciologie est née de la géologie. Il suffit pour illustrer cette affirmation de citer les célèbres « *Voyages autour des Alpes* » de H.-B. de Saussure et le traité de glaciologie écrit en 1885 par le grand géologue zurichois Albert Heim.

Dans la première moitié du 19^e siècle, les naturalistes retrouvèrent presque partout les traces d'anciennes extensions glaciaires: dépôts morainiques, blocs erratiques, roches polies et striées, etc. Ces matériaux, les géologues les analysèrent comme il le font pour les sédiments et les fossiles et ils leur assignèrent non seulement un rôle mais une place précise dans l'Histoire de la Terre. C'est ainsi qu'il nous apprirent que voici *un milliard d'années*, aux premiers âges géologiques, de grands glaciers avaient recouvert les régions du globe qui correspondent actuellement à l'Afrique du Sud et l'Amérique du Nord. Après cela, les glaciations se maintinrent comme des bornes milliaires tout au long de l'Histoire géologique. Les trois périodes glaciaires les plus importantes et les mieux définies ont été datées récemment par des méthodes physiques qui confirmèrent remarquablement les hypothèses géologiques. Ce sont, rapportées au début de l'ère chrétienne:

- 1^o La glaciation pré-cambrienne qui remonte à 600 millions d'années et dont on a retrouvé les traces dans le nord du Groenland, en Australie, en Inde et en Chine.
- 2^o La glaciation permo-carbonifère qui s'étendit en Afrique centrale et en Australie à la fin de l'ère primaire, voici 325 millions d'années..

Il est intéressant de rappeler qu'elle coïncida avec la période chaude et humide qui favorisa, dans l'hémisphère nord un développement prodigieux de la flore qui donna naissance aux dépôts houillers d'Europe, jusqu'au Spitzberg.

- 3^o Enfin, la série mieux connue des glaciations quaternaires qui commencèrent voici 1 million d'années et qui alternèrent avec des périodes plus chaudes. La dernière, dont les premiers hommes furent les témoins, se termina 15 000 ans avant J.-C. Dans cette série de glaciations, les plus importantes furent celles dites de Mindel et Riss qui couvrirent l'Europe du Nord, y compris l'Angleterre, l'Islande et la Scandinavie. Alors, la calotte glaciaire qui s'étendait au nord des

¹ A paru dans la revue du Club Alpin: « Les Alpes », 2^e trimestre 1964, p. 149.

Alpes poussa une langue d'écoulement jusque dans la région de Lyon et de Grenoble. A Lausanne, le glacier du Rhône abandonna en se retirant une gigantesque moraine dont la longue colline, qui de St-François, se continue à l'Ouest par Montoie, Malley, jusqu'à Renens, n'est qu'un vestige parmi d'autres.

La flore et la faune furent repoussées vers le Nord ou se réfugièrent sur quelques îlots rocheux émergeant de ce vaste désert de glace. Le grand tableau d'Ernest Hodel exposé au Musée du Jardin des Glaciers à Lucerne, et qui a été exécuté selon les directives du Dr Amrein et du Professeur Albert Heim représente sans doute très bien cette phase de la glaciation quaternaire en Suisse.

Mais tandis que le Nord de l'Europe subissait ces profondes vicissitudes, le bassin méditerranéen était épargné, offrant aux premiers hommes des conditions de vie remarquablement favorables. Ce n'est donc pas par hasard que le nord de l'Afrique, l'Italie le Midi de la France et l'Espagne ont été le berceau des premières civilisations où elles ont laissé les vestiges émouvants d'un art primitif plein de lumière.

Plus de cinquante théories ont été avancées pour tenter d'interpréter les oscillations climatiques qu'a subit notre globe depuis un milliard d'années et nous sommes loin d'être au clair sur les causes des glaciations. En ce qui concerne les glaciations quaternaires, il n'est certainement pas nécessaire d'invoquer une variation dans la constante de la radiation solaire, comme on le fait parfois. Il me semble que la théorie élaborée par le savant serbe Milankowich donne une explication assez satisfaisante. Elle montre que les effets combinés des anomalies naturelles du mouvement relatif du soleil et de la terre suffisent à expliquer que la quantité de chaleur reçue en un même point du globe doit nécessairement varier dans le temps.

Au surplus, il ne faut pas exagérer les variations de température qui ont accompagné les périodes glaciaires. L'abaissement de la température moyenne de l'air estivale à l'époque des glaciations quaternaires a été évalué par Milankowich à 6 à 10 degrés au maximum. Ce que l'on observe d'ailleurs de nos jours où plusieurs glaciers sont en crue sur le globe montre que de faibles variations de la température ont des effets considérables sur les glaciers.

Au Glacier d'Aletsch, par exemple, la limite inférieure du névé, à la fin de l'été, oscille, selon les années entre les cotes 3230 m. et 2760 m. Dans le premier cas, celui d'un été chaud, la surface du bassin d'accumu-

lation n'est que le 0,6 de celle de la langue et le bilan de masse du glacier est aussitôt déficitaire; mais dans le second, celui d'un été froid, la zone d'accumulation est 3 fois plus grande que celle du dissipateur et le bilan de masse devient positif. Si une longue série d'étés froids s'établissait, le régime de décrue actuel changerait assez vite et les langues glaciaires pousseraient en direction des plaines. N'oublions pas que certains glaciers suisses descendent actuellement déjà au-dessous de 1500 mètres, le plus bas dans les Alpes étant celui des Bossons qui se termine parfois au-dessous de 1200 mètres.

Inversément, que se passerait-il ? Une réduction des aires glaciaires sans doute. Mais il faudrait supposer un réchauffement considérable de l'air et une fluctuation de climat difficile à concevoir pour relever la limite des névés à une altitude qui exclurait la constitution des neiges persistantes et qui entraînerait la disparition du glacier d'Aletsch. Ce glacier existe sans doute depuis la formation des Alpes et ne disparaîtra qu'avec elles. N'oublions pas que les glaciers se développent actuellement sous toutes les latitudes, y compris les régions chaudes équatoriales à condition que le relief soit assez accusé et l'altitude suffisamment élevée.

Il n'en reste pas moins que les fluctuations climatiques ne suffisent pas à expliquer toutes les glaciations reconnues par les géologues. Au cours des âges de la terre, la répartition des aires continentales, leurs dérivés mises en évidence par Alfred Wegener qui fut aussi un grand glaciologue, les mouvements orogéniques, tous ces facteurs étrangers à la théorie astronomique de Milankowich ont aussi joué leur rôle dans l'apparition et la disparition des anciennes phases et zones de glaciation.

Ainsi, le problème des anciennes glaciations nous apparaît dans toute sa complexité. Les géologues en ont reconstitué les phases principales. Avant les physiciens, ils en ont déterminé l'âge d'une façon très approximative et bien rares sont ceux qui pourraient répondre à la question de savoir si nous allons ou non vers une nouvelle période glaciaire. C'est cependant ce que permet de prévoir la théorie de Milankowich que je me borne à citer, préférant, pour ma part, me récuser et dire « Qui vivra verra... », à condition que nous survivions déjà à l'ère nucléaire un peu inquiétante dans laquelle nous sommes déjà engagés...



Si comme je l'ai dit, les glaciers alpins ont l'âge des Alpes, ils se sont formés peut-être déjà voici quelques dizaines de millions d'années. Mais la glace dont ils sont constitués n'a évidemment pas un tel âge. Rappe-

lons donc, qu'un glacier, qu'il soit alpin ou polaire, est constitué par l'écoulement continu vers l'aval de la glace qui s'est formée dans la zone d'accumulation de la neige.

Les études faites par les glaciologues américains au Groenland ont montré que la métamorphose résultait simplement de la compression progressive de la neige sous le poids des couches successives. Il n'est donc pas nécessaire, comme le faisaient d'anciennes théories, d'invoquer des influences thermiques ou des réchauffements au voisinage du point de fusion. Dans le centre du Groenland où la neige reste constamment froide (température moyenne -28° C) la neige est totalement transformée en glace de densité 0,9 à une profondeur de 90 mètres. Dans nos glaciers alpins où le névé est souvent humidifié par des fusions partielles, la glace se forme plus rapidement, ce qu'il est aisé d'observer dans les crevasses.

Quel que soit le processus de formation, la glace est plastique malgré son apparente rigidité. Elle s'écoule lentement sous l'action de son poids, en se rapprochant d'autant plus du lit du glacier qu'elle s'est formée plus en amont. C'est ainsi qu'on trouve au front du glacier, ou dans les icebergs, la glace la plus vieille qui a fait le voyage le plus long.

Ce « voyage du glacier » selon l'heureuse expression due à Eugène Rambert, personne, jusqu'à ces dernières années, n'en avait jamais déterminé la durée. La raison en est l'ignorance dans laquelle la glaciologie est longtemps restée du mécanisme intérieur des glaciers. On a abondamment observé ce qui se passe à leur surface et mesuré la vitesse d'écoulement superficielle. On sait, par exemple, que le célèbre bloc de la grande moraine du Glacier Inférieur de l'Aar qui servit d'abri aux Soleurois Hugi en 1827 n'a pas encore atteint le front du glacier et qu'il a parcouru en 135 ans une distance totale de 5,343 m à vol d'oiseau, soit 40 m/an. Mais dans la profondeur du glacier, qui en certains endroits dépasse 400 mètres, la vitesse d'écoulement est beaucoup plus faible, de telle sorte qu'il n'est pas concevable d'admettre que la glace profonde qui parvient au front du glacier a au moins 500 ans et peut-être 1000 ans.

La seule tentative faite dans le dessein de déterminer la durée d'un tel écoulement est due à Paul-Louis Mercanton qui plaça en 1926 8 culots d'obus dans le névé du Jungfraujoch, soit 2 sur le versant bernois et 6 sur le versant valaisan, et qui devront ressortir dans quelques siècles au front des glaciers de Guggi et d'Aletsch. En 1928, il plaça encore 19 témoins semblables dans les crevasses supérieures du Glacier

du Rhône, en compagnie de ses collègues Jost et Oechslin. Ces obus scellés renferment un document « ad hoc » et la durée de leur voyage dans les profondeurs du glacier du Rhône est évaluée à 190 à 250 ans, selon la position initiale. Espérons que leur résurgence au front ne passera pas inaperçue !

Toutefois, d'ici là, le problème de l'âge de la glace qui apparaît au front d'un glacier, au contact du lit aura peut-être été résolu plus rapidement par les méthodes que la physique moderne met à la disposition des glaciologues.

D'une façon plus générale, les glaciologues font actuellement de grands efforts pour déterminer l'âge d'un échantillon quelconque de glace, prélevé en un point quelconque d'un glacier, et, en particulier à son extrémité, où la glace parvient après le temps le plus long compté à partir de l'époque de la chute de la neige qui a constitué l'échantillon considéré.

Cette évolution de la glaciologie est déjà très prometteuse; mais je me bornerai à choisir quelques exemples de datations physiques.

Dans le nord du Grœnland, par exemple, à l'Est de Thulé, les Américains ont foré un trou vertical dans le névé de l'Indlandsis, jusqu'à la profondeur de 411 mètres, sans atteindre le lit du glacier. Jusqu'à 10 à 15 mètres, les échantillons recueillis permettent à un observateur exercé de distinguer les couches de neige d'hiver de celles d'été et de dénombrer les années comme on compte les couches annuelles dans un tronc d'arbre.

Mais, au-dessous de 10 à 15 mètres, où la distinction entre les couches d'été et d'hiver ne peut plus s'opérer en utilisant des caractères morphologiques, on a recouru à une méthode physique qui consiste à mesurer en laboratoire la concentration, dans chaque échantillon, de la teneur de la glace en atomes d'oxygène de masse 18, comparative-ment au nombre des atomes ordinaires de masse 16. Le principe de cette analyse isotopique est basé sur le fait, que les cristaux de neige qui se forment aux basses températures hivernales contiennent moins d'atomes d'oxygène 18 que ceux formés en été.

Les résultats trouvés sont très intéressants et ont permis de conclure que l'échantillon le plus profond retiré du trou de forage avait environ 1000 ans. Mais si l'accumulation ainsi déterminée pour les 300 mètres inférieurs correspond à une précipitation annuelle moyenne de 34 cm d'eau (le climat est en effet très sec), elle s'élève à 40 cm/an dans les couches des 50 dernières années. Ainsi, outre la détermination de l'âge, on a mis en évidence une variation récente du climat.

Les forages profonds dans les calottes polaires sont encore très rares et je n'en connais que trois, dont deux, moins profonds, dans l'Antarctique. Mais ce genre de recherches est à l'ordre du jour et nul doute qu'on ne parvienne dans un avenir assez proche à perforer l'épaisse calotte de glace de l'Antarctique qui, en certains points, atteint presque 5000 mètres. Ce moyen permettra dès lors de remonter quelques dizaines ou centaines de milliers d'années dans l'histoire du globe, de reconstituer les fluctuations de climat de l'Ere quaternaire, et peut-être, de déterminer l'époque à partir de laquelle les fabuleux amas de glace des calottes polaires se sont constitués.

Toutefois, la méthoe des isotopes de l'oxygène postule une variation saisonnière régulière et n'est donc pas à l'abri d'incertitudes. C'est la raison pour laquelle l'Expédition glaciologique internationale au Groenland à laquelle la Suisse a participé en 1959 a appliqué un autre principe de datation. Au centre du Groenland, des forages faits à la main jusqu'à 30 mètres et un puits creusé jusqu'à 40 m ont fourni des échantillons de névé dont l'âge a été déterminé par une méthode absolue basée sur la décroissance avec le temps de la radioactivité d'un isotope de l'hydrogène de masse 3 contenu dans la glace et qui se forme dans l'atmosphère. La demi-période de désintégration de cet atome nommé Tritium est de 12,26 années, ce qui convient bien pour la détermination d'âges jusqu'à 100 ans. Le résultat qui vient d'être établi en Suisse montre que le névé retiré du fond du puits de 40 mètres a environ 70 ans. Une couche rencontrée à 31,5 m de profondeur, partiellement transformée en glace de congélation date de 1908 avec une certitude de 5 ans. Elle a conservé la marque d'un été plus chaud que les autres. En outre, dans cette zone du Groenland central où les couches de névé sont pressées presque verticalement vers le fond rocheux situé à 3 400 m. sous la surface, la glace qui est en contact avec le lit date sans doute de plus de 10 000 ans. Celle qui est chassées vers les côtes situées à plus de 400 km est évidemment beaucoup plus âgée encore et la question de son âge nécessite ici une brève mention.

La glace qui parvient ainsi en bordure du Groenland après un parcours aussi long est certainement très vieille. Une estimation de son âge en a été faite par le physicien allemand Karl Philbert qui a basé essentiellement ses calculs sur la plasticité de la glace froide et obtenu 30 000 à 40 000 ans. La vérification expérimentale est difficile et n'a porté jusqu'ici que sur quelques icebergs recueillis dans la Mer de Baffin en 1959 par une expédition internationale et pour lesquels l'âge trouvé reste très inférieur à ces prévisions théoriques. Cet écart peut s'expli-

quer par le fait que les échantillons d'icebergs ne sont pas à l'abri d'altérations dues à leur séjour dans l'eau de mer. Et aucune conclusion ne peut encore être tirée de cette tentative isolée.

Dans ce cas, la datation est basée sur le dosage du Carbone 14 radioactif contenu dans les bulles d'air emprisonnées dans la glace bordière. Cet air provient de la région centrale où la glace s'est formée à partir du névé. Lorsque la compression a rendu la masse compacte, l'air atmosphérique occlu dans les cristaux de glace ne peut plus s'échapper avant la fonte à la côte ou à la mer. Dans le gaz carbonique que renferme cet air, l'isotope du carbone de masse 14 se désintègre avec une demi-période de 5568 ans, ce qui constitue une bonne échelle de datation valable jusqu'à 50 000 ans en arrière. La seule difficulté est d'ordre technologique, car il est nécessaire d'extraire préalablement l'air occlu dans une masse de glace de plusieurs centaines de kilogrammes pour la datation d'un seul échantillon.

De nouvelles tentatives de datation par la méthode du Carbone 14 sont en cours de préparation et porteront aussi sur la glace bordière de l'Inlandsis du Groënland, peut-être plus vieille que celle des icebergs.

Il est facile de se rendre compte que ces méthodes récentes seront susceptibles d'éclairer à nouveau le problème si difficile des variations des glaciers. Ainsi, par exemple, si la glace bordière du Groënland révèle un âge de 40 000 ans, on pourra affirmer que la glaciation du Groënland remonte à 40 000 ans au moins. Et dans toutes ces régions du globe qui possèdent actuellement des glaciers, leur étude ainsi renouvelée par les applications élégantes de la physique apporteront des réponses nouvelles aux questions que l'homme n'a cessé de se poser sur son propre passé et sur l'histoire du globe².

² *Note de l'auteur* : Depuis la rédaction du texte de l'article, j'ai appris l'existence d'un nouveau forage profond exécuté par les Américains à l'est de Thulé.

D'autre part, le premier essai de datation de la glace bordière de l'Inlandsis du Groënland a été tenté récemment (mars, avril 1964) par un groupe de glaciologues suisses et américains, auquel j'ai pris part. 24 avril 1964, A. Rd.